

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

376/352

86-079594/12
HITACHI KK

K05 X14

HITA 21.07.84
*J6 1029-796-A

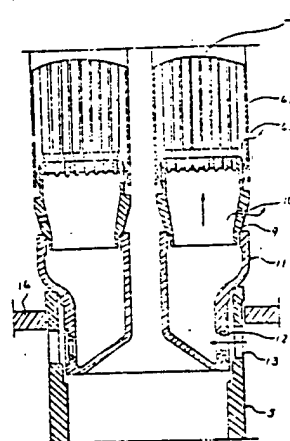
K(5-B3, 5-B6A2)

21.07.84-JP-151554 (10.02.86) G21c-05 G21c-15/02

Reactor with core divided into two zones - where bore of orifice connected to fuel assemblies in inner zone is larger than that for surrounding zone
C86-034258

Core zone, except fuel assemblies which arranged at most outer peripheral layer, is divided into centre part (first zone) and its surrounding area (second zone). Bore of orifice connected to fuel assemblies arranged in first zone is made larger than that of orifice for second zone.

ADVANTAGE - Max. temp. of cladding tube at coolant loss accident can be reduced by 100 deg.C. Analysis of re-submergence can be made faster by 10 secs., which results in resubmerging time being delayed by 32 secs., and capacity of ECCS can be reduced by 32%. (10pp Dwg.No.2/20)



© 1986 DERWENT PUBLICATIONS LTD.

128, Theobalds Road, London WC1X 8RP, England

US Office: Derwent Inc. Suite 500, 6845 Elm St. McLean, VA 22101

Unauthorised copying of this abstract not permitted.

⑨ 日本国特許庁(JP)

⑩ 特許出願公開

⑪ 公開特許公報(A)

昭61-29796

⑫ Int. Cl.⁴

識別記号

庁内整理番号

⑬ 公開 昭和61年(1986)2月10日

G 21 C 15/02
5/00

A-7808-2G
7156-2G

審査請求 未請求 発明の数 1 (全10頁)

⑭ 発明の名称 原子炉

⑮ 特 願 昭59-151554

⑯ 出 願 昭59(1984)7月21日

⑰ 発 明 者 鈴木 洋 明 日立市森山町1168番地 株式会社日立製作所エネルギー研究所内

⑱ 発 明 者 村 瀬 道 雄 日立市森山町1168番地 株式会社日立製作所エネルギー研究所内

⑲ 出 願 人 株式会社日立製作所 東京都千代田区神田駿河台4丁目6番地

⑳ 代 理 人 弁理士 高橋 明夫 外2名

明 細 書

発明の名称 原子炉

特許請求の範囲

1. 内部に冷却材流路を有してその冷却材流路に配置されるオリフィスを有する複数の燃料支持部材と、前記燃料支持部材にて保持され前記冷却材流路を通して冷却材が供給される複数の燃料集合体とからなる炉心を具備する原子炉において、前記炉心の最外周層に配置された前記燃料集合体を除いた炉心領域を、中心部の第1領域とそれを取り囲む第2領域に分割し、前記第1領域に配置された前記燃料集合体に連絡される前記オリフィスの口径を、前記第2領域に配置された前記燃料集合体に連絡される前記オリフィスの口径よりも大きくしたことを特徴とする原子炉。

発明の詳細な説明

〔発明の利用分野〕

本発明は、原子炉に係り、特に原子炉配管の破断等による冷却材喪失事故時において炉心の冷却に好適な原子炉に関する。

〔発明の背景〕

従来の沸騰水型原子炉の局部縦断面を第6図に、第6図にⅡで示した燃料集合体1下部の詳細を第2図に示す。沸騰水型原子炉の通常運転時には、多数の燃料集合体1で構成された炉心を冷却材(冷却水)が通過する際、冷却材は燃料からの発熱により加熱されて沸騰する。発生した蒸気はセパレータ2で気水分離された後、タービンに送られ発電に利用される。炉心、セパレータ2、ジェットポンプ3及び制御棒案内管5は、原子炉圧力容器8内に設置される。一方、セパレータ2で分離された冷却材は、ダウンカム部7に落下して再循環配管6に導かれ、再循環配管6に設けられた再循環ポンプ(図示せず)にて昇圧されてジェットポンプ3を通り、原子炉圧力容器8内の下部ブレンナム4に連する。下部ブレンナム4に流入した冷却材は、第7図に示したように、制御棒案内管5に設けた流路孔13及び燃料支持金具11に設けた入口オリフィス12を通つて炉心に流入し、各燃料集合体1内を上昇する。

燃料集合体1の下部タイプレート9には、開口10が設けられている。14は炉心支持板である。

第8図は、従来の沸騰水型原子炉の炉心の横断面の一例を示す。第9図は、出力が最も高い炉心中心での燃料集合体の出力を基準として半径方向位置での最高出力燃料集合体の相対出力を示し、第10図は炉心の中心からの燃料集合体数の横分値を示す。第3図に示した炉心の最外周のB領域22に配置した燃料集合体1は第9図に示したように出力が炉心の中央部のA領域21に配置した燃料集合体1に比べて小さいため、前者の燃料集合体1に供給される冷却材の流量が後者の燃料集合体1のそれよりも少なくなるように前者の燃料集合体1の入口オリフィス12の直径が後者の燃料集合体1のそれよりも小さくしてある。第10図に示すように、A領域21に配置された燃料集合体の数は炉心全体の88%を占めており、B領域22に配置された燃料集合体1の数は残りの12%を占めている。

このような沸騰水型原子炉において、例えば、

第6図に示した再循環配管6の破断(冷却材喪失事故)を想定すると、破断口から冷却材が流出してこれに伴い原子炉压力容器8内の圧力が低下する。この圧力低下に伴う減圧沸騰により、特に冷却材を多量に保有する下部プレナム4において蒸気が多量に発生し、その蒸気は燃料集合体1内を吹き上がる。同時に、炉心を冷却するために非常用炉心冷却系(ECCS)が作動し、燃料集合体1の上部から供給された冷却材が燃料集合体1内に流入するため、炉心において気液対向流の状態になる。

このような、従来例においては、第9図における炉心中心部の燃料集合体に対して事故時の燃料温度を評価し、ECCSの容量を決定している。このため、ECCSの容量を大型化する必要がある。

〔発明の目的〕

本発明の目的は、ECCSの小型化を図ることのできる原子炉を提供することにある。

〔発明の概要〕

本発明では、上記した目的を達成するために、事故時における炉心での冷却材の流動状態を支配している因子を明らかにし、炉心を同心円状の燃料集合体群に分割し、出力の高い炉心中央部の燃料集合体群では常に冷却効果の大きい気液上昇流の流動状態を実現せしめる。

冷却材喪失事故が発生すると、ECCSが作動して炉心上方のスプレイノズルから燃料集合体内に冷却水がスプレイされる。冷却水のスプレイによつて冷却水が集中的に落下(冷却水下降流)する燃料集合体と下部プレナムから上昇する蒸気が集中的に吹上げ(気液上昇流)る燃料集合体とに分離されることがわかった。しかし、冷却水下降流及び気液上昇流のいずれが燃料集合体内で集中的に生じているかは、従来特定できなかった。

本発明は、このような現象に着目して燃料集合体内での流体の流れを特定しようとするものである。

以下、本発明の原理について第11図から第20図を用いて説明する。第11図は単一の燃料

集合体での圧力損失特性を、第12図及び第13図は簡単のために燃料集合体の内部での蒸気の発生を考慮しないときの圧力損失及び吹き上げ蒸気による水の落下抑制(CCF L)特性を、第14図及び第15図は燃料集合体の内部での蒸気の発生を考慮したときの圧力損失及びCCFL特性を示したものである。第11図に示すように、燃料集合体内の二相流状態での圧力損失は、入口オリフィス及びスパーサーでの圧力損失と燃料集合体内部の水の静水頭との和で表すことができる。吹き上げ蒸気量が増えるのに従つて、燃料集合体のチャンネルボックス内の保有水量が減少し水の静水頭は減少するが、燃料支持金具に設けられた入口オリフィス及びスパーサーでの圧力損失が増大するため、燃料集合体の圧力損失は微小値をもつ凹型の特性となる。口径の小さな入口オリフィスを有する燃料支持金具の1つの孔部内に挿入された燃料集合体では、入口オリフィスでの圧力損失が大きいために、第12図に示すように全体の圧力損失が増大し、かつ圧力損失が微小となる吹き

上げ蒸気量が小さくなる。第13図は、上部タイブレート、大口径入口オリフィス、及び小口径入口オリフィスでのCCFL特性を示したものである。吹き上げ蒸気量が、大口径入口オリフィスと小口径入口オリフィスでそれぞれ W_{s1} 、 W_{s2} より大きくなると入口オリフィスから冷却水が下方の下部プレナム4に落下しなくなる。これにより、燃料集合体内の流動状態は、入口オリフィスから吹き上げる蒸気にバイパスリーク孔から流入する冷却水が同伴されて吹き上げる気液上昇流となる。冷却材喪失事故時に下部プレナム4から減圧沸騰により燃料集合体内に吹き上げる蒸気量は、事故後5.5秒時に最大となり、その後減圧率の低下とともに減少していく。そこで、吹き上げ蒸気量が十分大きい値から減少していく過程を考える。今、小口径入口オリフィスが設けられた燃料支持金具に取付けられた燃料集合体のうち n 体、大口径入口オリフィスが設けられた燃料支持金具に取付けられた燃料集合体のうち m 体が気液上昇流の状態にあるとする。燃料集合体は、上部プレナムと下

部プレナム4とがジェットポンプを介してつながっているため、圧力損失はすべての燃料集合体で等しくなっている。吹き上げ蒸気量が減少するのに伴い各燃料集合体の圧力損失が、減少して小口径入口オリフィスに連通する燃料集合体の最小圧力損失 ΔP_1 に達すると、小口径入口オリフィスに連通する燃料集合体の圧力損失はそれ以上減少することができず、 n 体の気液上昇流状態の燃料集合体のうち1体が冷却水が落下するだけの冷却水下降流の状態に移移する。この移移が起こるときの蒸気量は $(nW_{s1} + mW_{s2})$ で与えられる。吹き上げ蒸気量をさらに減少させると、気液上昇流の状態にある小口径入口オリフィスに連通する燃料集合体が1体ずつ冷却水下降流の状態に移移していく。小口径入口オリフィスに連通する燃料集合体は、それらのすべてが冷却水下降流の状態になつた後、さらに圧力損失が減少して大口径入口オリフィスに連通する燃料集合体の最小圧力損失 ΔP_2 に達すると、気液上昇流状態にある大口径入口オリフィスに連通する燃料集合体が1体ずつ

冷却水下降流の状態に移移していく。気液上昇流状態にある大口径入口オリフィスに連通する燃料集合体の数を m とすると、移移が起こるときの蒸気量は (mW_{s2}) で与えられる。次に、燃料集合体内部での蒸気の発生を考慮したときの流動状態の予測方法を第14図及び第15図に基づいて説明する。燃料集合体内部での発生蒸気量を W_{s1} 、冷却水の減気量を W_{s2} とすると、上部タイブレートでのCCFL特性は、第15図に破線で示すように変化して大口径入口オリフィスのCCFL特性とA点で交差する。A点での吹き上げ蒸気量を W_{s1} とすると、吹き上げ蒸気量が W_{s1} より小さいときには、入口オリフィスから落下できる水の量が燃料集合体の上部タイブレートから落下する水の量よりも多くなり燃料集合体内に冷却水がたまらない。吹き上げ蒸気量が W_{s1} より多いときには、入口オリフィスから落下できる水の量が燃料集合体の上部タイブレートから落下する水の量よりも少ない。この結果、燃料集合体内に冷却水がたまるので、第14図に示すように圧力損失は

W_{s1} で急激に増加する特性をもつ。したがって、大口径入口オリフィスに連通された燃料集合体は、吹き上げ蒸気量が W_{s2} の気液上昇流の状態(B点)から吹き上げ蒸気量が W_{s1} の状態に移移する。このときの燃料集合体内の流動状態は、入口オリフィスでのCCFL特性に従って吹き上げる蒸気に対向して冷却水の落下する気液対向流状態となる。沸騰水型原子炉で事故時に発生すると予測される蒸気量の範囲では、小口径入口オリフィスに連通された燃料集合体はすべて冷却水下降流の状態となり、気液上昇流の集合体数 m は、気液対向流の集合体数を m' として、次式で計算できる。

$$W_s = mW_{s2} + m'W_{s1} \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$N_L = m + m' \quad \dots\dots\dots(2)$$

但し、 W_s は下部プレナムでの蒸気発生量、及び N_L は大口径入口オリフィスに連通された燃料集合体の数である。

以上説明したように、小口径入口オリフィスに連通された燃料集合体では冷却水の下降流となり、大口径入口オリフィスに連通された燃料集合体で

は気液対向流もしくは気液上昇流となる。冷却材喪失事故時に於ける下部プレナム内での蒸気発生量の変化を、冷却材の流出により炉心が露出した時の値を基準として第16図に示す。時間の経過とともに、原子炉圧力の低下率の減少により蒸気発生量は減少する。下部プレナムでの蒸気発生量の変化に伴い、各流動状態の燃料集合体数がどのように変化するかを第17図に示す。気液上昇流の燃料集合体の割合は、炉心露出直後には70%であるが、その後蒸気発生量の低下とともに小さくなり、炉心再冠水時の蒸気発生量(A)のときには50%となる。

次にこれらの流動状態となつた燃料集合体の燃料被覆管温度が実験においてどのように変化したかを第18図に、このときの流動状態を第19図に示す。第19図は、模擬実験の装置を示している。15は原子炉圧力容器を模擬した容器である。容器15内に、2体の角筒16A及び16Bが設けられる。これらの角筒は、燃料集合体1及び燃料支持金具11を模擬している。角筒16A及び

16Bの下端部に、オリフィス12に相当する開口18が設けられている。仕切板17は、炉心支持板14に対応している容器15内の上端部に、緊急炉心冷却系のスプレインズを模擬したスプレインズ19が設けられる。容器15内には加熱された水が充填されている。20は減圧によって生じる気泡である。第18図に示すように、気液上昇流の燃料集合体(角筒16B)は、気液対向流の燃料集合体(角筒16A)よりも燃料被覆管温度が低くなっている。これは、第19図に示すように、気液上昇流の燃料集合体(角筒16B)では蒸気の吹き上げにより燃料集合体内が気液二相で満たされているために均一によく冷却されるが、気液対向流の燃料集合体(角筒16A)では気液の混合水位が形成されてこの水位より上方での冷却効果がその下方の部分よりも低くなるためである。したがって、発熱量の大きい炉心中央部に配置された燃料集合体内で気液上昇流が常に生じるようにすれば、その燃料集合体で高い冷却効果が得られ燃料被覆管温度の最高値を低下させる

ことができる。

以上はオリフィス口径が2種類の場合であるが、3種類以上の場合でも同様に流動状態を予測することができる。第20図に示すように、オリフィス口径が小さくなるほど圧力損失が極小となるときの圧力損失の値が大きくなる。したがって、吹き上げ蒸気量が減少するのに伴い圧力損失が低下し、オリフィス口径の小さい燃料集合体から順次冷却水下降流の流動状態に移移する。以上から、燃料支持金具11のオリフィス口径が大きいほど気液上昇流に、そのオリフィス口径が小さいほど冷却水下降流になりやすいことがわかる。本発明は以上の特性を利用し、炉心をいくつかの領域に分け、出力が高い中心から出力が低い周辺にかけて燃料集合体の入口オリフィス口径を領域ごとに小さくすることにより、出力が高い炉心中央部を冷却効果の高い気液上昇流の流動状態とし、炉心冷却をより効果的にするものである。

【発明の実施例】

以下、本発明の一実施例を第1図により説明す

る。第1図は沸騰水型原子炉の炉心の横断面を示している。この炉心30は第1領域31、第2領域32及び最外周領域33からなっている。最外周領域33は、炉心30の最外周層に配置された燃料集合体からなっており、第3図のB領域22に該当する。第1領域31及び第2領域32は、第3図のA領域21を2つに分けたものである。第1領域31は炉心中心部に配置され、第2領域32は第1領域31の周囲を取囲んでいる。最外周領域33は、第2領域32の外周を取囲んでいる。第1領域31は、最外周領域33を除いた炉心部分の50%を占めている。第1領域31に配置される燃料集合体1を保持する燃料支持金具11のオリフィス12の口径を、第2領域32に配置される燃料集合体1を保持する燃料支持金具11のオリフィス12の口径よりも3.5%大きくしている。最外周領域33の燃料集合体1を保持する燃料支持金具11のオリフィス12の口径は最も小さい。これは、最外周領域33の燃料集合体1の発熱量が小さく、冷却水流量が他の領域に

比べて少なくすむからである。このような原子炉では、通常運転時において第1領域31の燃料集合体1に入口オリフィス12を通つて流入する冷却水の流量は、第2領域32の燃料集合体1に流入する冷却水流量よりも7%大きくなる。しかし、第2図に示す燃料集合体1の下部タイプレート9に設けられた開口10の流路面積を大きくするもしくはチャンネルボックス42の下端部に開口43を設けることにより、それを通して燃料集合体1の外部に流出する冷却水流量を7%だけ増加させることが可能である。このため第1領域31の燃料集合体の内部に流入する冷却水の流量を第2領域32の燃料集合体の内部に流入する冷却水流量と等しくすることができる。また、再循環配管6の破断等の冷却材喪失事故時には、減圧沸騰によつて原子炉压力容器8内の下部ブレンラム4で蒸気が発生する。この蒸気は、大きな口径を有する入口オリフィスに連絡される燃料集合体内ほど吹き上げられやすい特性をもつ。第3図に第1領域31の燃料集合体と第2領域32の燃料

集合体の圧力損失特性を示す。吹き上げ蒸気量が減少する過程で第2領域32の燃料集合体のうち気液上昇流の状態にある燃料集合体が一つずつ気液対向流に遷移していくときの蒸気量 W_{g0} は、そのとき第1領域31の燃料集合体を吹き上げる蒸気量 W_{g1} と15%の差がある。この値は、各燃料集合体の発熱量のバラツキに起因する各燃料集合体を吹き上げる蒸気量のバラツキ6%よりも十分大きい。減圧率の低下に伴い吹き上げ蒸気量が減少する過程では、まず第2領域32の燃料集合体が気液対向流の状態に遷移していく。事故時における気液上昇流の集合体の割合は70%（炉心露出時）～50%（炉心再冠水時）であり、本実施例では口径の大きな入口オリフィス12に連絡される燃料集合体の割合を50%としているので、これらの燃料集合体は常に冷却効果の高い気液上昇流の状態となる。被覆管最高温度の時間変化を本実施例と従来例と比較して第4図に示す。本実施例では、発熱量の大きい炉心の第1領域31の燃料集合体で常に冷却効果の高い気液上昇流の流

動状態となるため、被覆管最高温度が100℃以下する。したがつて、従来例と同一の被覆管最高温度となる炉心再冠水時刻を22秒遅らせることができ、緊急炉心冷却系の容量を23%低減することが可能である。

本実施例によれば以下の効果がある。

- (1) 再循環配管破断等の冷却材喪失事故時の被覆管最高温度を100℃以下させることができる。
- (2) したがつて、従来と同一の被覆管最高温度となる炉心再冠水時刻を22秒遅らせることができ、ECCSの容量を23%低減できる。

第5図は本発明の他の実施例を示すもので、第1図と同一部分は同一符号で示す。第1図と異なる点は、第1図の第2領域32を第1図の第2領域32と、第3領域34とに分割した点にある。第3領域34に配置される燃料集合体に連絡される入口オリフィス12（燃料支持金具11に設けられる）の口径は、第2領域32に配置される燃料集合体に連絡される入口オリフィス12の口径よりも3.5%小さくなっている。しかし、第3領

域34のその入口オリフィス12の口径は、最外周領域33に配置される燃料集合体に連絡される入口オリフィス12の口径よりも大きい。第3領域34に配置される燃料集合体の数の割合は、18%である。再循環配管破断等の冷却材喪失事故時に、冷却水下降流または気液対向流となる燃料集合体の割合は30%（炉心露出時）～50%（炉心再冠水時）の範囲で変化するが、本実施例ではオリフィス口径の小さい最外周領域33の燃料集合体の割合12%と第3領域34の燃料集合体の割合18%を足して30%になるようにしている。このため最外周領域33の燃料集合体は常に冷却水下降流に、第3領域34の燃料集合体は常に気液対向流となる。したがつて、本実施例では第1領域31の燃料集合体が常に冷却効果の高い気液対向流の状態となるほかに、第3領域34及び最外周領域33の燃料集合体で常に冷却水が落下するため許認可解析上再冠水時刻が10秒早くなる。

本実施例によれば以下の効果がある。

- (1) 再循環配管破断等の冷却材喪失事故時の被覆管最高温度を100℃低下させることができる。
- (2) また、許認可解析上再冠水時刻が10秒早くなる。
- (3) したがって、従来と同一の被覆管最高温度となる炉心再冠水時刻を32秒遅らせることができ、ECCSの容量を32%低減できる。

〔発明の効果〕

本発明によれば、再循環配管破断等の冷却材喪失事故時において出力の高い炉心中心部で常に冷却効果の高い流動状態を実現できるので、事故時における炉心の健全性をさらに向上せしめるかもしくは緊急炉心冷却系の小型化を可能とする効果がある。

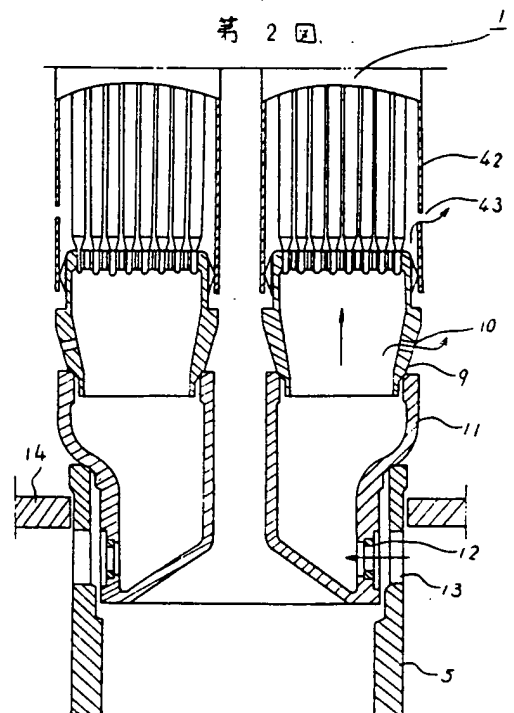
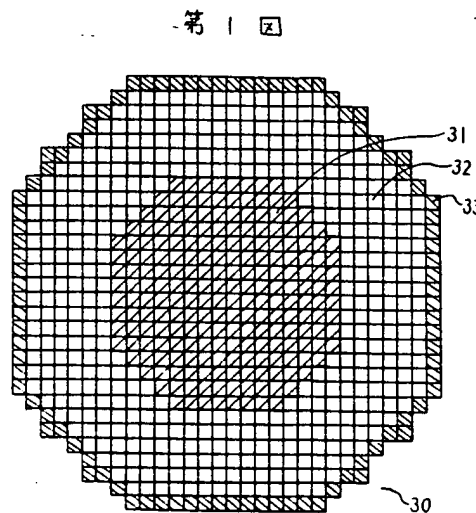
図面の簡単な説明

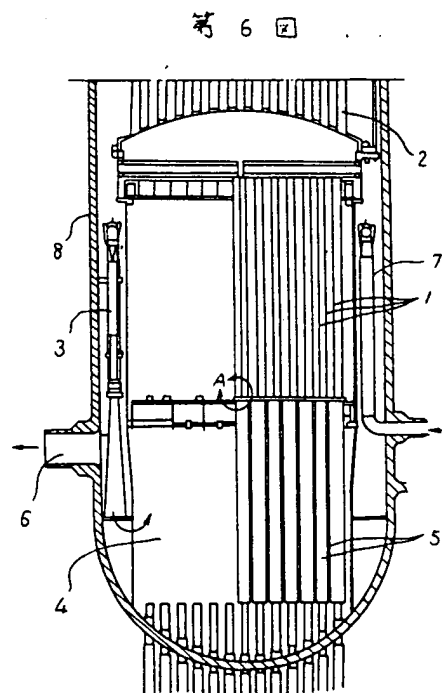
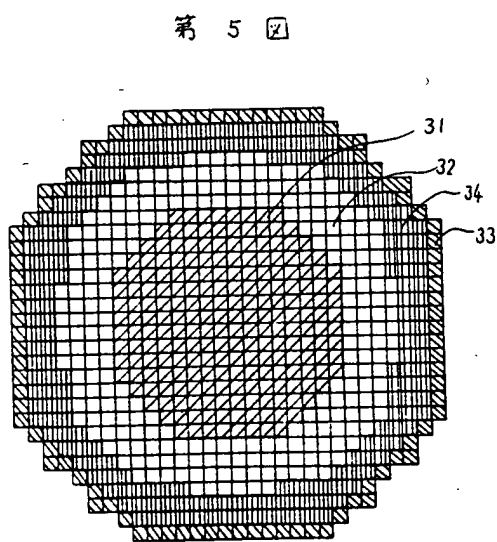
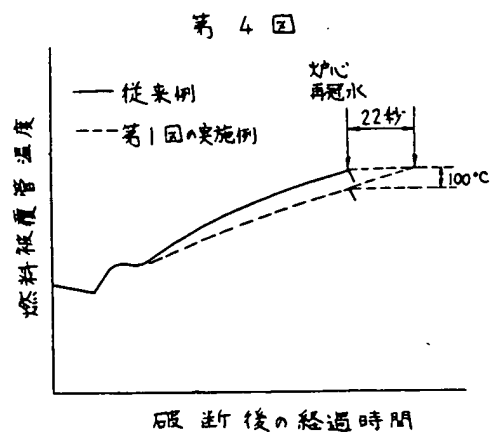
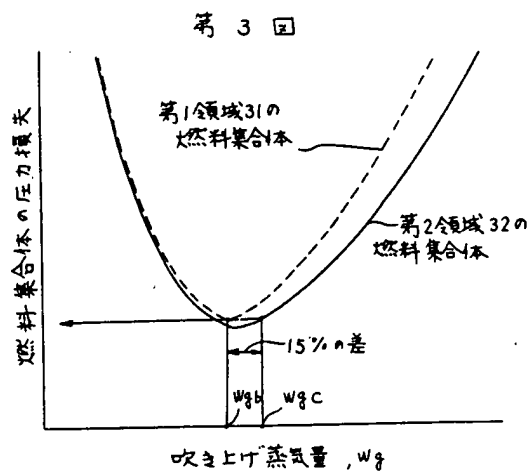
第1図は沸騰水型原子炉に適用した本発明の好適な一実施例の炉心部の平面図、第2図は第1図の炉心下部の縦断面図、第3図、第11図、第12図、第14図及び第20図は吹上げ蒸気量と燃料集合体の圧力損失との関係を示す特性図、第

4図は破断後の経過時間と燃料被覆管温度との関係を示す特性図、第5図は本発明の他の実施例の炉心の平面図、第6図は沸騰水型原子炉の縦断面図、第7図は第6図の燃料集合体支持部の拡大断面図、第8図は従来の沸騰水型原子炉の炉心の平面図、第9図は炉心半径方向の出力分布を示す特性図、第10図は炉心半径方向の燃料集合体の本数の分布を示す特性図、第13図及び第15図は吹上げ蒸気量と落下水量との関係を示す特性図、第16図は事故発生後の経過時間と下部プレナム蒸気発生量との関係を示す特性図、第17図は気液対向流または気液上昇流が発生する燃料集合体数の変化を示す特性図、第18図は冷却材喪失事故発生後の経過時間と被覆管温度との関係を示す特性図、第19図は本発明の原理を確認した実験装置の構造図である。

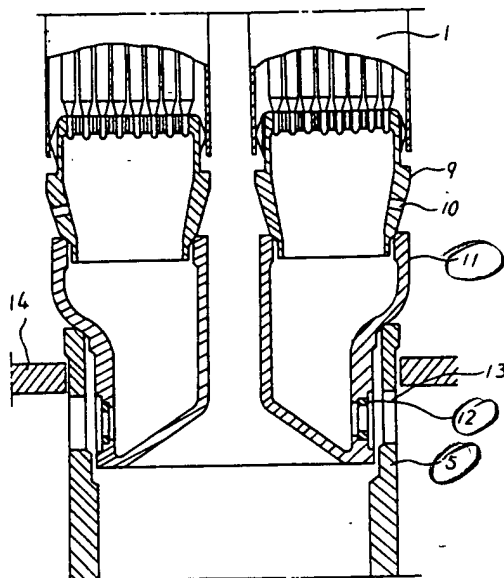
1…燃料集合体、11…燃料支持金具、12…入口オリフィス、31…第1領域、32…第2領域、33…最外周領域、34…第3領域。

代理人 弁理士 高橋明夫

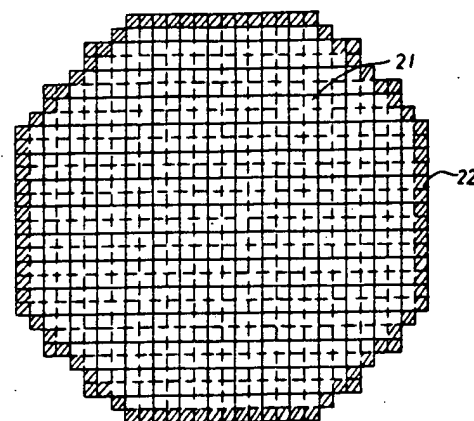




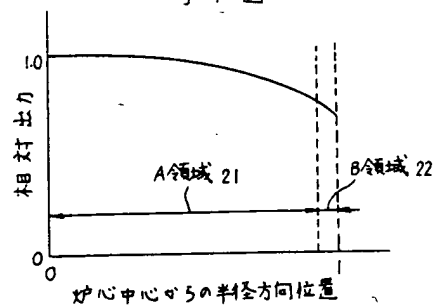
第 7 図



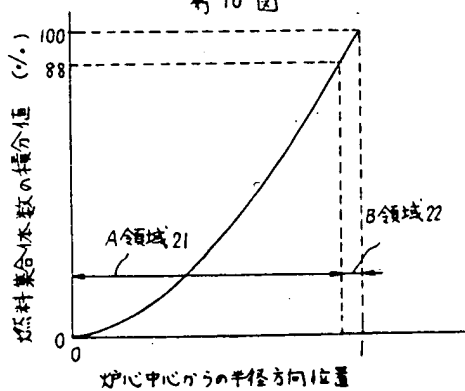
第 8 図



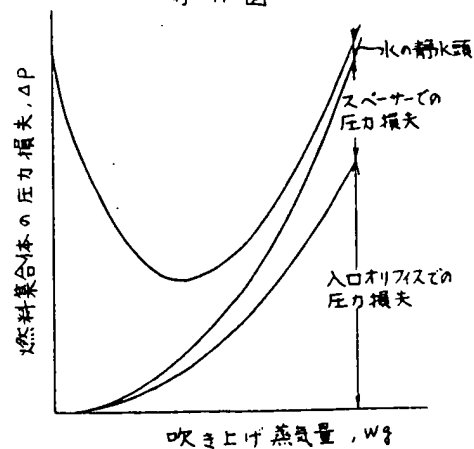
第 9 図



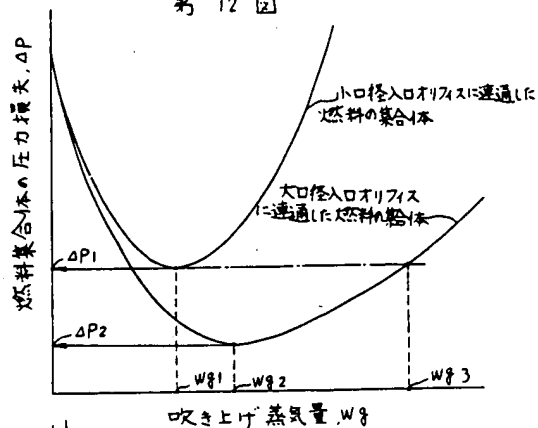
第 10 図



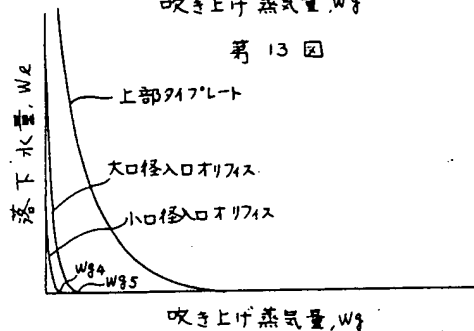
第 11 図



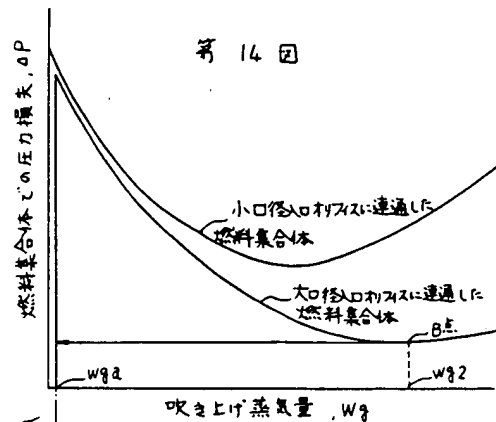
第 12 図



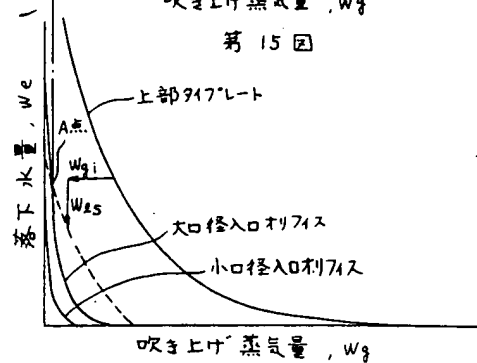
第 13 図



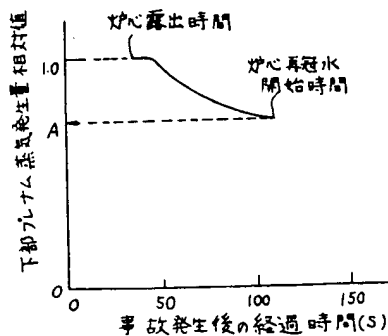
第 14 図



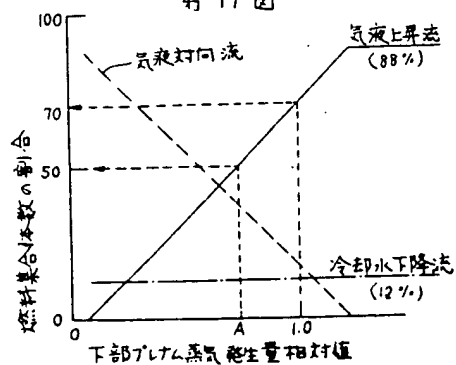
第 15 図



第 16 図



第 17 図



第 18 図

